

Límites y Críticas del Conocimiento Científico en lo relativo al Abordaje de la Crisis Ambiental

Héctor Echavarría Heras

Cecilia Leal Ramírez

Rafael Cabral Tena

Eduardo Millán Nuñez

Correspondencia: hetxavar@cicese.mx

Citar como:

Echavarría Heras, H., Leal Ramírez, C., Cabral Tena R., Millán Nuñez E., (2024). *Límites y Críticas del Conocimiento Científico en lo relativo al Abordaje de la Crisis Ambiental. Materiales de apoyo al Curso de Epistemología de la Crisis Ambiental: La Relevancia de la Economía, Ensayo 3.2.* (Comunicaciones del Grupo de Modelación y Análisis Teorético. Serie Divulgación). Departamento de Ecología Marina, CICESE

Resumen

Es indudable que el conocimiento científico participa en forma importante en la integración de nuestro entender sobre lo que es y cómo debemos abordar la crisis ambiental. Pero independientemente de esto, es importante resaltar que el conocimiento científico acusa limitaciones en lo relativo a este tema. Estas se asocian con su enfoque reduccionista, la incertidumbre en sus proyecciones y aquellas restricciones a su fiabilidad que se derivan de un desapego a consideraciones éticas en el que incurren muchos investigadores científicos. A esto hay que agregar limitaciones derivadas de la obsesión por la tecnología, aquellas asociadas a los sesgos, las fundadas en la parcialidad excluyente del conocimiento tradicional y que lo alejan de una perspectiva multidisciplinaria y por ende de abrazar el holismo necesario para encarar la crisis. Se pretende que este ensayo aporte ideas generales que permitan entender porque, para abordar eficazmente la crisis ambiental, es importante primeramente reconocer las fortalezas y limitaciones del conocimiento científico. Paralelamente, resulta esencial comprender la magnitud de los complejos retos que la mencionada crisis plantea. Ante esto, el diseño de las pertinentes medidas de remediación además de la afluencia de información científica demanda del apego a un enfoque multidisciplinario, inclusivo y ético. Explicar esta conjunción es un segundo objetivo de este ensayo.

1. Introducción

Problemas como el cambio climático, la deforestación, la pérdida de biodiversidad y la contaminación, caracterizan en gran medida los efectos de la actual crisis ambiental [1]. La manifestación de estos fenómenos ha propiciado la instrumentación de una respuesta global. En gran parte las medidas de remediación que han sido propuestas pretenden sustentarse en el conocimiento científico [2-3]. Como ha sucedido en el abordaje de otras problemáticas, es de esperarse que, en efecto, la información científica juegue también un papel transcendental en lo concerniente a la crisis ambiental. Nos referimos sucintamente a la identificación de causas, consecuencias y posibles soluciones a los retos coligados. Sin embargo, es muy importante señalar que independientemente de que la ciencia ofrezca ideas valiosas, esta también tiene limitaciones [4]. Dichas limitaciones son notorias, esto principalmente en virtud de la naturaleza compleja y multifacética de la crisis ambiental. En este ensayo exploramos algunas de estas limitaciones. Destacamos en consecuencia la necesidad de la colaboración interdisciplinaria y de un enfoque societal más amplio para eficientizar el concurso de la ciencia en las soluciones a la problemática planteada por la mencionada crisis.

La motivación fundamental para la creación de este trabajo fue la necesidad de integrar un prontuario de conceptos, definiciones, explicaciones y bibliografía auxiliar para las sesiones de discusión asociadas al desarrollo del módulo 3.2 del curso sobre Epistemología de la Crisis Ambiental: La relevancia de la Economía, impartido en el CICESE. Para la conformación del primer borrador de este trabajo se utilizaron procedimientos tradicionales de investigación documental. En la revisión de la veracidad, coherencia y pertinencia de los contenidos aquí presentados se utilizaron recursos de inteligencia artificial [5].

2. Sobre los Límites del Conocimiento Científico en Materia Ambiental :

Como hemos expresado en la introducción, la participación de la investigación científica en la comprensión de lo relacionado con el medio ambiente ha sido fundamental. Ha permitido identificar las causas, consecuencias y soluciones potenciales a las complicaciones derivadas del actual desastre

climático. Hemos también destacado que, no obstante, es perentorio reconocer que la ciencia también tiene limitaciones inherentes al abordar la naturaleza compleja y multifacética de la aludida crisis ambiental. A continuación, repasamos algunos factores y enfoques que limitan la confiabilidad de la investigación aledaña.

2.1 Reduccionismo y Simplificación

Al realizar procedimientos analíticos en investigación, el apego al reduccionismo y a la simplificación implican el descomponer sistemas complicados en componentes más simples [6]. Aunque esta técnica puede ayudar a comprender aspectos del medio ambiente, puede simplificar excesivamente la estructuración conceptual de la interconexión y complejidad de todo el sistema [7]. A continuación proporcionamos algunos ejemplos de enfoques reduccionistas en la investigación ambiental.

2.1.1 Las Emisiones de Carbono y el Cambio Climático

Se considera, que las emisiones de carbono son factor causal más importante del cambio climático, [8]. Sin duda, es pertinente reducir los niveles actuales de emisiones de carbono. No obstante, este enfoque es parcial. No considera el relevante papel de otros gases de efecto invernadero. Digamos, el óxido nitroso y el metano. Mas aun, la aproximación parcial de atribuir el cambio climático a las emisiones de carbono tampoco toma en cuenta otros factores causales. Por ejemplo, la deforestación, los cambios en el uso de la tierra y el funcionamiento de los bucles de retroalimentación del sistema climático. Consabidamente estos últimos también influyen en la alteración del clima global. Mas aun, considerar exclusivamente a las emisiones de carbono como responsables del aludido impacto ambiental podría dejar fuera los aspectos más amplios que también abrazan agentes causales de este como lo ecológico, lo social y lo económico.

2.1.2 Pérdida de Biodiversidad y Extinción de Especies

Comúnmente se suelen priorizar determinados estudios sobre extinción de especies. Por lo general estos se circunscriben a aquellas que son atractivas o económicamente valiosas. Sin embargo, esta tendencia induce una excesiva simplificación. Como resultado de esto, se deja de lado la compleja red de conexiones que existe entre el conglomerado especies y los numerosos servicios ecosistémicos que estas ofrecen. Entender la biodiversidad, amerita la consideración tanto de las especies individuales, como también las interacciones entre ellas. Pero, aparte de esto hay que tomar en cuenta a la variedad de diversidad genética que aportan al ecosistema y sus contribuciones funcionales al mismo [9-10]. Centrarse únicamente en unas pocas especies de interés equivale a ignorar la complejidad de la interdependencia y el mutualismo de los sistemas ecológicos.

2.1.3 Contaminación del Agua y Sustancias Químicas

Algunas veces al abordar el estudio de la contaminación del agua, los investigadores suelen analizar por separado los efectos de contaminantes, como los metales pesados o los pesticidas [11]. Resulta pertinente recabar información sobre los efectos de cada uno de los contaminantes a nivel particular. No obstante, parcializar el estudio, los investigadores podrían dejar de lado el cuadro completo de la contaminación del agua. Bien sabemos que este envuelve tanto los efectos combinados de múltiples sustancias químicas y también aquellos derivados de la forma en la que estas interactúan diferentes con el ecosistema acuático [12]. Se deriva de esto que para poder obtener un conocimiento más extenso de la contaminación del

agua es necesario considerar el efecto global de la mezcla de contaminantes, sus efectos acumulativos y las posibles repercusiones en la vida acuática a lo largo del tiempo [13-14].

2.1.4 Planificación Urbana y Espacios Verdes

La integración de espacios verdes en la ordenación urbana tiene como objetivo mejorar la calidad ambiental de esta [15]. Sin lugar a duda la inclusión de parques y grandes áreas verdes en las ciudades es importante. Tiene una repercusión directa en la mejora de la calidad de vida de sus habitantes. Sin embargo, independientemente de sus ventajas, esta estrategia propala una excesiva simplificación del ecosistema urbano. Mas aún podría decirse que se concibe ignorando de paso la complejidad inherente al establecimiento de un desarrollo urbano sostenible. Con esto hacemos referencia al hecho de que la adaptación de ciudades verdaderamente sostenibles y resilientes amerita la consideración de varios factores. Entre estos se encuentran incluidos los sistemas de transporte, la eficiencia energética, la gestión de residuos, la equidad social y el acceso a servicios básicos [16-17].

Los ejemplos proporcionados explican la manera en la cual, el reduccionismo y la simplificación pueden limitar la comprensión integral de los problemas ambientales. Esto sucede porque dichas aproximaciones al centrarse en elementos específicos pasan por alto la necesidad de abordar una visión más amplia, misma que se hace necesaria dada la complejidad inherente. Sin duda debemos reconocer la relevancia de tomar en cuenta la interdependencia y la complejidad de los sistemas ambientales si pretendemos concebir enfoques más inclusivos y eficientes para abordar los problemas ambientales.

2.2 Incertidumbre y Complejidad

Para entender los embates de la crisis ambiental hay que lidiar con sistemas intrincados y no lineales cuya predicción escapa de rangos de precisión confiables. Es una patente realidad, que independientemente de los esfuerzos de la ciencia por cuantificar y modelar los sistemas ambientales, persisten incertidumbres inherentes a la complejidad de las interacciones entre las diversas variables que se utilizan en la interpretación de su devenir [18-19]. La investigación ambiental también se hace frágil en virtud del conocimiento incompleto sobre aspectos necesarios para el entendimiento de los sistemas bajo estudio, mismo que contribuye a la incertidumbre. Particularmente la escasez de datos aunada al comportamiento impredecible de los fenómenos naturales catapulta incertidumbres que dificultan la comprensión de los problemas ambientales [20]. Estos factores limitan la confiabilidad de los resultados de la investigación ambiental. A continuación, proporcionamos algunos ejemplos.

2.2.1 Proyecciones de Cambio Climático

La investigación sobre el cambio climático implica la creación de modelos que simulen posibles escenarios futuros. La adaptación de dichos modelos está basada en diversas suposiciones e insumos de datos. Sin embargo, la complejidad intrínseca de los sistemas involucrados dificulta el análisis formal y empírico que se asocia a la exploración de las predicciones de dichos modelos. Por ende, esto conduce a incertidumbres en las emanantes predicciones del cambio climático [21-23]. Para explicar esto habría que mencionar la concatenación de diversos factores que lo determinan. Primeramente, debemos citar a las emisiones de gases de efecto invernadero. Hay que tomar en cuenta también la existencia de los bucles de retroalimentación que norman el comportamiento del clima. Por último, problemas inherentes a la

determinación de un impacto regional certero. Esto último sin lugar a duda plantea dificultades para estimar con precisión el aumento de la temperatura, el nivel del mar y los eventos climáticos extremos que el futuro podría presentar [24].

2.2.2 Incertidumbres en la Evaluación de la Biodiversidad

Evaluar y observar la biodiversidad es una tarea harto complicada. Esto obedece primeramente a la concurrencia de numerosas especies en un entorno dado. A esto hay que agregar las dificultades de delimitación de áreas de distribución de estas. Además, hay que tomar en cuenta la complejidad de sus relaciones [25-26]. Por añadidura, nuestro juicio sobre la magnitud real de la pérdida de biodiversidad y sus consecuencias en los ecosistemas se ve obstaculizada por un conocimiento insuficiente de la diversidad de especies. Y esto es más notoriamente marcado en regiones remotas o menos estudiadas [27]. Conjuntamente, estimar el valor de la biodiversidad y la valuación de los servicios ecológicos que ofrece también encara retos. Esto en virtud de que identificar y determinar sus valores se complica por la naturaleza dinámica y la interdependencia de los ecosistemas [28-29].

2.2.3 Respuesta de los Ecosistemas a Factores Estresantes Ambientales

Dada la gran complejidad inherente se torna difícil comprender cómo los ecosistemas responden a factores estresantes ambientales, como la contaminación o la degradación del hábitat. En virtud de esto, se dificulta predecir cómo reaccionarán y se recuperarán [30-31]. La explicación de esto reside esencialmente en el hecho de que su dinámica depende de numerosos factores interactivos y a las respuestas no lineales que les son características. Necesariamente emana incertidumbre que surge del conocimiento incompleto sobre umbrales ecológicos, efectos que se dan con retardo y el efecto debido a bucles de retroalimentación imprevistos que operan dentro de los ecosistemas [32].

2.2.4 Datos Incompletos

La evaluación sobre escalas temporales de gran magnitud de los efectos de las actividades humanas en el medio ambiente se ve usualmente limitada por la carencia de suficientes datos históricos [33]. Por ejemplo, comprender los estados basales pasados de los ecosistemas, como los bosques vírgenes o los entornos marinos, es difícil ya que hay registros insuficientes o comprensión limitada de los ecosistemas premodernos [34]. Esta falta de certeza afecta nuestra capacidad para evaluar y comparar con precisión tanto la magnitud como la velocidad de la transformación ambiental resultante de las actividades humanas [35].

En conclusión, la incertidumbre aunada a un conocimiento incompleto plantea grandes desventajas en la investigación ambiental. Reconocer estas limitaciones amerita encontrar formas de aumentar la consistencia de los resultados de esta. Destaca en esto una mejor recopilación de datos. Asimismo, es importante alentar esfuerzos de monitoreo y colaboración intersectorial. La conjunción de estas medidas puede mejorar nuestra comprensión de las cuestiones ambientales. Puede por ende proporcionar el sustrato para una toma de decisiones informadas y un desarrollo de políticas ambientales más efectivas.

2.2.5 Problemas Ambientales Emergentes

La aparición de nuevos problemas ambientales, como los microplásticos y el impacto de las tecnologías emergentes plantea problemas importantes. Ante su irrupción por lo general nos enfrentamos a una situación de conocimiento limitado [36]. En síntesis, la rapidez con la que surgen estos problemas puede superar el ritmo de producción de investigación científica. Esto, a su vez, lleva a la incertidumbre sobre su alcance, magnitud e impactos a largo plazo. Durante tales desafíos, se requieren medidas precautorias. Estas medidas son necesarias para orientar la toma de decisiones en ausencia de datos confiables [37-38].

2.3 Restricciones de Tiempo

La presión para abordar problemas urgentes determina al tiempo como un factor importante en la investigación ambiental [39]. Ciertamente la necesidad de actuar con celeridad puede entrar en conflicto con la naturaleza pausada de la producción de investigación científica. Puede también conflictuar con la demora en la integración de esta en la toma de decisiones [40]. A continuación, se muestran algunos ejemplos que explican estos efectos.

2.3.1 Mitigación del Cambio Climático

Mitigar el cambio climático demanda tomar acciones inmediatas. No obstante, diversos problemas dificultan su consumación. De inicio, las emisiones de gases de efecto invernadero se deben reducir. En conjunción con esto se debe impulsar la transición a fuentes de energía renovable [41]. Sin embargo, la aportación de los resultados de investigación científica que se requieren para instrumentar esta transición u otras medidas pertinentes acusa dificultades. Dicha investigación demanda recopilación de datos, y la realización de experimentos. Lograr esta conjunción suele ser un proceso que consume mucho tiempo. Por otra parte, una vez que se tiene la información científica pertinente, el lograr acuerdos sobre la implementación de las estrategias de remediación más efectivas también demanda una cantidad considerable de tiempo. Además, la velocidad a la que se produce el progreso científico puede no estar alineada con la necesidad inmediata de intervenciones políticas y cambios en la sociedad. Estos cambios son esenciales para abordar efectivamente el cambio climático, y las inercias aledañas son posiblemente el factor más relevante en el retraso de la adopción de las pertinentes medidas de remediación [42].

2.3.2 Desastres Naturales y Respuestas de Emergencia

La importancia de la investigación ambiental radica en comprender y anticipar desastres naturales como huracanes, inundaciones e incendios forestales [43]. Sin embargo, cuando ocurren tales eventos se requiere una respuesta de emergencia. La toma de decisiones rápida es esencial para mitigar sus efectos. Cuando la disponibilidad de tiempo es limitada se puede plantear un problema en lo relativo a la recopilación y examen exhaustivo de datos. A raíz de esto se pueden proponer respuestas de emergencia inadecuadas. También pueden presentarse dificultades para coordinar acciones de socorro que resulten exitosas.

2.3.3 Conservación de Especies y Riesgo de Extinción

Una de las tareas heredadas del influjo de la crisis ambiental es la de la conservación de especies en peligro de extinción. Sin embargo, cabe señalar que el tiempo disponible para producir la investigación requerida es limitado. Por ende, analizar variaciones en la densidad de población e instituir medidas de conservación que resulten adecuadas crea dificultades. Destaca en esto el hecho de que muchas especies animales

enfrentan peligros crecientes debido a la desaparición de sus hábitats. Hay que agregar a esto los efectos que sobre las especies ejercen el cambio climático y la caza ilegal. Estos factores refuerzan la percepción de que existe una apremiante necesidad de recopilar rápidamente información. Solo de este modo podremos implementar técnicas de conservación y proteger ecosistemas críticos para evitar la disminución irreversible de especies o su eventual extinción [44].

2.3.4 Política Ambiental y Legislación

Para diseñar políticas y leyes ambientales efectivas se hace necesaria una comprensión exhaustiva de los intrincados dilemas asociados. Para lograr esto resaltan como determinantes esenciales la investigación científica y la consulta con las partes interesadas. Sin embargo, debido a los procesos burocráticos y políticos, el proceso de formulación de políticas puede ser largo. Esto puede ser problemático ya que los problemas ambientales urgentes, como la contaminación por plásticos o la deforestación, están aumentando. La implementación lenta de políticas puede obstaculizar los esfuerzos para abordar estos problemas de manera oportuna y completa [45].

2.3.5 Agotamiento Global de Recursos

Ante el abatimiento de los recursos naturales, incluidas las pesquerías, los minerales y el agua dulce, emergen barreras significativas para los esfuerzos tendientes a lograr una gestión sostenible [46]. Una de estas barreras se relaciona con la aportación expedita de resultados de investigación que se hacen necesarios para abordar la problemática planteada por el mencionado abatimiento. Ciertamente, llevar a cabo una investigación exhaustiva sobre la disponibilidad de recursos, la determinación de las tasas de extracción y la efectividad de las prácticas sostenibles adoptadas puede consumir una cantidad significativa de tiempo. El principal reto circundante para vencer radica en equilibrar los esquemas económico-vigentes que usualmente priorizan los beneficios a corto plazo sobre las consideraciones ambientales a largo plazo que son inherentes al paradigma de la sostenibilidad.

Los ejemplos arriba incluidos explican la forma en la cual las restricciones de tiempo y la urgencia de los desafíos ambientales pueden crear tensiones. Estas se identifican más nítidamente con una carencia de tiempo necesario para una investigación científica integral. A esto hay que agregar la necesidad de una formulación de políticas y la toma de decisiones que podrían retrasarse. La falta de tiempo a la que nos hemos referido podría impedirnos equilibrar la necesidad de acción inmediata con la importancia de enfoques basados en evidencia y una planificación a largo plazo. Esta conjunción como sabemos es esencial para abordar efectivamente los problemas ambientales de manera oportuna e impactante. A manera de constatación en primera instancia de la veracidad de lo vertido en esta sección se revisó su contenido utilizando recursos de inteligencia artificial [47].

3. Conocimiento Científico y Dimensiones Éticas y de Valores en Materia Ambiental

El conocimiento científico Independientemente de su objetividad, en algunos confines deja de incorporar aspectos esenciales. Por ejemplo, en su búsqueda de explicación de lo observable en materia ambiental, no incorpora en principio consideraciones éticas y culturales. Ciertamente, abordar la crisis ambiental, conlleva a una comprensión de inconveniencias como el cambio climático, la pérdida de biodiversidad, la contaminación, la deforestación y el agotamiento de los recursos naturales. Dichas remoras no pueden ser

entendidas sin recurrir a la participación del hombre. Esta es imposible de ser entendida sin tener en cuenta la ética [48]. Los principios éticos ofrecen una manera de evaluar las consecuencias morales y las obligaciones que acompañan a estos problemas ambientales [49]. Por lo tanto, aparte de la información científica es importante considerar los factores éticos al abordarlos

3.1. Valor Intrínseco de la Naturaleza

Las consideraciones éticas hacen posible que se tome en cuenta el valor intrínseco de la naturaleza. Enfatizan que el medio ambiente tiene valor en sí mismo. Subrayan que este debe ser protegido por su propio valor inherente [50-51]. Esta perspectiva reconoce que la naturaleza tiene derechos que son independientes de su valor para los humanos. Se colige de esto, que la protección de la naturaleza se ubica en una dimensión ética [52].

3.2. Interconexión e Interdependencia

Todas las formas de vida interactúan con su entorno. Asimismo, la biota que constituye los ecosistemas se encuentra sujeta a interconexiones lo cual determina relaciones de interdependencia [53]. De ahí, la importancia de preservar la armonía ecológica y salvaguardar la biodiversidad. Solo logrando este binomio podremos actuar en beneficio de todas las especies, incluidos los seres humanos. Resulta importante además destacar la relevancia que el apego a consideraciones éticas reviste en el afán de lograr este objetivo.

3.3 Justicia Intergeneracional

Al abordar consideraciones éticas en materia medioambiental implícitamente se toma en cuenta el concepto de justicia intergeneracional. Nuestra interacción con el medio ambiente determinará su forma en el futuro [54]. El principio de justicia intergeneracional enfatiza el deber moral de proteger el medio ambiente. Promueve el beneficio de las generaciones venideras. Su vigencia permite asegurar que estas tengan el derecho de vivir en un planeta sostenible y saludable [55].

3.4 Equidad Ambiental y Justicia Social

Las consideraciones éticas enfatizan la importancia de la equidad ambiental y la justicia social. Es harto conocido que la crisis ambiental afecta de manera desproporcionada a las comunidades vulnerables. Esto acontece tanto a un nivel local como en el global. El apego a los marcos éticos hace posible que las soluciones ambientales consideren las necesidades y los derechos de las comunidades marginadas. De este modo asegurando la vigencia de una distribución justa de las cargas y beneficios ambientales [56].

3.5 Responsabilidad y Custodia

Como hemos venido señalando a lo largo de esta sección, el apego a consideraciones éticas en lo relativo a la protección al medioambiente resulta ser de fundamental relevancia. Dicho apego fomenta un sentido de responsabilidad y custodia hacia la naturaleza. Insta a los individuos, instituciones y gobiernos a comprender su papel en relación con el daño al medio ambiente. Crear conciencia sobre la dimensión de dicho daño, es fundamental para tomar medidas tendientes a prevenirlo y disminuirlo. Una de estas medidas es la promoción de hábitos sostenibles. Es importante también adoptar medidas tendientes a la

reducción del desperdicio. También aquellas que promueven la preservación de los recursos naturales y al cambio a formas de energía más limpias [57].

3.6 Toma de Decisiones Éticas y Formulación de Políticas

Las consideraciones éticas revisten singular relevancia. Ofrecen una estructura para desarrollar decisiones bien informadas y dar forma a políticas ambientales. Los marcos éticos enfatizan la importancia de la conservación del medio ambiente sobre los beneficios económicos inmediatos. Instan a la inclusión de aspectos ambientales en los procedimientos de toma de decisiones a nivel personal, empresarial y administrativo [58].

3.7 Cooperación Global y Solidaridad

La crisis ambiental plantea un desafío a escala global. Su efectivo abordaje requiere cooperación internacional y solidaridad. Las consideraciones éticas enfatizan la responsabilidad compartida de todas las naciones para tratar los problemas ambientales de manera colectiva. Esto es sin lugar a duda necesario ya que el impacto de la degradación ambiental trasciende las fronteras nacionales [59].

Al apegarnos a consideraciones éticas en materia de abordaje de la problemática inherente a la crisis ambiental podemos promover un beneficio fundamental. Se hace palpable el fomentar una relación sostenible y justa del ser humano con el mundo natural. Concisamente, los marcos éticos marcan pauta para la toma de decisiones coherentes en lo ambiental. Estas incluyen desde luego la formulación de políticas y las acciones individuales que prioricen la protección ambiental. Los marcos éticos proporcionan además una ruta consistente hacia la equidad social y el bienestar de las generaciones presentes y futuras. A manera de constatación en primera instancia de la veracidad, coherencia y pertinencia de lo vertido en esta sección se revisó su contenido utilizando recursos de inteligencia artificial [60].

4 Críticas al Conocimiento Científico en el Abordaje de la Problemática Ambiental

4.1 Fijación Tecnológica

Según enfatizan los críticos, una dependencia excesiva en los resultados de la ciencia y en las aportaciones de la tecnología puede dar la impresión de que los problemas ambientales pueden resolverse por completo a través de la innovación [61]. Sin embargo, esta perspectiva deja de lado la importancia de modificar comportamientos. Tampoco toma en cuenta la relevancia de reformar políticas y cambiar actitudes sociales para abordar las causas fundamentales de la crisis. Además, las enmiendas tecnológicas pueden tener resultados no deseados. Esto resalta la necesidad de adoptar un enfoque más integral para abordar la crisis ambiental.

4.2 Intereses Corporativos y Sesgos

La investigación científica puede ser influenciada y por ende sesgada por intereses corporativos. Esto obedece en primera instancia a la necesidad de adquirir fuentes de financiamiento. Como resultado se puede comprometer la objetividad de la investigación y por ende distorsionar sus hallazgos [62]. Sabemos que las industrias con intereses en ciertos resultados pueden privilegiar el financiamiento de estudios dirigidos a sus fines. Esto puede generar conflictos de interés que minimizan la gravedad de los problemas ambientales o dificultan la implementación de soluciones efectivas. Luego entonces, para garantizar la

integridad de la investigación ambiental, es fundamental priorizar prácticas transparentes e imparciales en lo relativo al financiamiento.

4.3 Conocimiento Cultural y Original

Un punto cuya importancia los críticos enfatizan con gran vehemencia concierne al conocimiento ecológico tradicional de las comunidades étnicas. Sucede que este a menudo es ignorado o desestimado por el conocimiento científico [63]. El conocimiento tradicional se deriva de las prácticas, desarrolladas por las comunidades ancestrales a lo largo de siglos de interacción con los ecosistemas [64]. Por ende, proporciona perspectivas valiosas y distintas sobre la gestión sostenible de recursos y la conservación. Sin duda el prescindir de esta sabiduría puede obstaculizar la efectividad de las soluciones ambientales y perdernos el beneficio ligado a la consideración de puntos de vista diversos. A manera de constatación en primera instancia de la veracidad, coherencia y pertinencia de lo vertido en esta sección se revisó su contenido utilizando recursos de inteligencia artificial [65].

5. Conclusión

En resumen, el conocimiento científico desempeña un papel crucial en lo relativo a revolver la problemática planteada por la crisis ambiental. Sin duda contribuye en forma muy relevante al proporcionar ideas útiles y soluciones creativas. También aporta procedimientos basados en la comprensión impulsada por datos y experimentos. No obstante, como hemos discutido, esta herramienta influyente tiene ciertos inconvenientes y críticas que deben ser reconocidos y resueltos para establecer un enfoque más eficiente y extensivo.

El enfoque reduccionista de la investigación científica se basa en la simplificación de sistemas complicados. Pero al hacer esto podemos simplificar en exceso nuestro paradigma de la compleja red de interrelaciones que definen los problemas ambientales. Para evitar esto, es necesario abordar una perspectiva holista. Solo esta puede permitir la consideración de la interdependencia de factores ecológicos, sociales y culturales como una base para desarrollar soluciones efectivas.

La complejidad y no linealidad son características inherentes a los sistemas ambientales. Estos factores, dificultan la predicción precisa y por ende hacen difícil la toma de decisiones debido a incertidumbres inseparables. Para abordar problema resulta muy importante mejorar los procedimientos de recopilación de datos. También se requiere fomentar la integración de distintas disciplinas y monitorear continuamente los cambios ambientales. No obstante, se tiene siempre una persistente urgencia de abordar los problemas ambientales. Esto puede inducir limitaciones de tiempo que entran en conflicto con la naturaleza meticulosa de la investigación científica. Este efecto de limitación de tiempo también afecta a la formulación de políticas. Por lo tanto, es fundamental lograr el equilibrio entre la necesidad de acción inmediata con la de integración estrategias basadas en evidencia a largo plazo. Estas últimas son las que puedan adaptarse a retos ambientales en evolución.

Además, es fundamental incorporar aspectos éticos y morales en los procesos de toma de decisiones en materia ambiental. Las consideraciones éticas promueven condiciones inductoras del bienestar tanto de generaciones presentes como futuras. Propalan también la equidad en esferas ambientales y sociales. Para establecer una relación más sostenible entre los seres humanos y el medio ambiente es necesario

reconocer el valor inherente de la naturaleza. Se necesita además comprender la ingénita interdependencia y defender los principios de responsabilidad y custodia.

La pertinencia del conocimiento científico enfrenta críticas. Se fundamentan con base en los sesgos hacia las corporaciones. En la fijación en la tecnología y en la exclusión del conocimiento tradicional. Estos factores que instan a la crítica del uso predominante de información científica en materia ambiental deben de abordarse cuidadosamente. Dichas críticas enfatizan la importancia de la transparencia, la responsabilidad y un enfoque de mente abierta para abordar las preocupaciones ambientales. Para establecer soluciones más eficientes, imparciales y duraderas a la problemática ambiental, es menester integrar diversas perspectivas. Es también fundamental fomentar la colaboración entre la experiencia científica, el conocimiento tradicional, la influencia cultural

y los valores sociales.

En conclusión, para abordar eficazmente la crisis ambiental, debemos de tomar en cuenta insumos relevantes. Es importante primeramente reconocer las fortalezas y limitaciones del conocimiento científico. En segundo lugar, hay que enfatizar que se requiere adoptar un enfoque multidisciplinario, inclusivo y ético. Solo al cobijo de este esquema podremos abordar los complejos retos ambientales actuales.

Agradecimientos

Agradecemos a Angelica María Moreno su participación en las tareas de edición.

Referencias

1. Singh, R. L., & Singh, P. K. (2017). Global environmental problems. Principles and applications of environmental biotechnology for a sustainable future, 13-41.
2. Wynne, B. (2013). Scientific knowledge and the global environment. In Social theory and the global environment (pp. 169-189). Routledge.
3. Suter, G. W., & Cormier, S. M. (2008). A theory of practice for environmental assessment. Integrated Environmental Assessment and Management, 4(4), 478-485.
4. Gelpe, M. R., & Tarlock, A. D. (1974). The uses of scientific information in environmental decision making. S. Cal. L. Rev., 48, 371
5. Open AI (2024) Chat GPT, Large Language Model. <https://openai.com/chatgpt/>
6. Mazzocchi, F. (2008). Complexity in biology. Exceeding the limits of reductionism and determinism using complexity theory. EMBO Reports, 9(1), 10-14. <https://doi.org/10.1038/sj.embor.7401147>
7. Jordan, C. F., (2013). Holism vs. reductionism in environmental science. An Ecosystem Approach to Sustainable Agriculture: Energy Use Efficiency in the American South, 217-244.
8. Lamb, W.F. et al (2021). A review of trends and drivers of greenhouse gas emissions by sector from 1990 to 2018 Environ. Res. Lett. 16 073005. DOI 10.1088/1748-9326/abee4e

9. Cardinale, B. J., Duffy, J. E., Gonzalez, A., Hooper, D. U., Perrings, C., Venail, P., ... & Naeem, S. (2012). Biodiversity loss and its impact on humanity. *Nature*, 486(7401), 59-67.
10. Sukhdev, P., Wittmer, H., Schröter-Schlaack, C., Neßhöver, C., Bishop, J., Brink, P. T., ... & Simmons, B. (2008). The economics of ecosystems and biodiversity. TEEB for National and International Policy Maker. <https://www.teebweb.org/wp-content/uploads/Study%20and%20Reports/Reports/National%20and%20International%20Policy%20Making/TEEB%20for%20National%20Policy%20Makers%20report/TEEB%20for%20National.pdf>
11. Rad, S. M., Ray, A. K., & Barghi, S. (2022). Water Pollution and Agriculture Pesticide. *Clean Technologies*, 4(4), 1088-1102. <https://doi.org/10.3390/cleantechnol4040066>
12. Warren-Vega, W. M., Campos-Rodríguez, A., Zárate-Guzmán, A. I., & Romero-Cano, L. A. (2023). A Current Review of Water Pollutants in American Continent: Trends and Perspectives in Detection, Health Risks, and Treatment Technologies. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 20(5). <https://doi.org/10.3390/ijerph20054499>
13. Kumar, R., Qureshi, M., Vishwakarma, D. K., Al-Ansari, N., Kuriqi, A., Elbeltagi, A., & Saraswat, A. (2022). A review on emerging water contaminants and the application of sustainable removal technologies. Case Studies in Chemical and Environmental Engineering, 6, 100219. <https://doi.org/10.1016/j.cscee.2022.100219>
14. Singh, A., Sharma, A., K. Verma, R., L. Chopade, R., P. Pandit, P., Nagar, V., ... S. Sankhla, M. (2022). Heavy Metal Contamination of Water and Their Toxic Effect on Living Organisms. *Intech Open*. doi: 10.5772/intechopen.105075
15. Semeraro, T., Scarano, A., Buccolieri, R., Santino, A., & Aarrevaara, E. (2021). Planning of urban green spaces: An ecological perspective on human benefits. *Land*, 10(2), 105.
16. Du, M., & Zhang, X. (2020). Urban greening: A new paradox of economic or social sustainability? *Land Use Policy*, 92, 104487. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2020.104487>
17. Sofeska, E. (2016). Relevant factors in sustainable urban development of urban planning methodology and implementation of concepts for sustainable planning (Planning documentation for the Master Plan Skopje 2001–2020). *Procedia Environmental Sciences*, 34, 140-151.
18. Kirchner, M., Mitter, H., Schneider, U. A., Sommer, M., Falkner, K., & Schmid, E. (2021). Uncertainty concepts for integrated modeling- Review and application for identifying uncertainties and uncertainty propagation pathways. *Environmental Modelling & Software*, 135, 104905. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2020.104905>

19. Judd, M., Horne, A. C., & Bond, N. (2023). Perhaps, perhaps, perhaps: Navigating uncertainty in environmental flow management. *Frontiers in Environmental Science*, 11, 1074896. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2023.1074896>
20. Kozyreva, A., Hertwig, R. (2021) The interpretation of uncertainty in ecological rationality. *Synthese* 198, 1517–1547. <https://doi.org/10.1007/s11229-019-02140-w>
21. Deser, C., Phillips, A., Bourdette, V. et al. (2012). Uncertainty in climate change projections: the role of internal variability. *Clim Dyn* 38, 527–546 (2012)
22. Rangwala, I., Moss, W., Wolken, J., Rondeau, R., Newlon, K., Guinotte, J., & Travis, W. R. (2021). Uncertainty, Complexity and Constraints: How Do We Robustly Assess Biological Responses under a Rapidly Changing Climate? *Climate*, 9(12), 177. <https://doi.org/10.3390/cli9120177>
23. Shepherd, T. G. (2014). Atmospheric circulation as a source of uncertainty in climate change projections. *Nature Geoscience*, 7(10), 703-708.
24. Giorgi, F. (2010). Uncertainties in climate change projections, from the global to the regional scale. In *EPJ Web of conferences* (Vol. 9, pp. 115-129). EDP Sciences.
25. Levy N, Simon-Blecher N, Ben-Ezra S, Yuval M, Doniger T, Leray M, Karako-Lampert S, Tarazi E, Levy O. Evaluating biodiversity for coral reef reformation and monitoring on complex 3D structures using environmental DNA (eDNA) metabarcoding. *Sci Total Environ*. 2023 Jan 15;856(Pt 2):159051. doi: 10.1016/j.scitotenv.2022.159051. Epub 2022 Sep 28. PMID: 36181819.
26. Ito, M., Franz, M., & Barboza, F. R. (2019). Pathways to link biodiversity and ecosystem functioning: from monitoring to complex ecological interactions studies, *Community Ecology Community Ecology*, 20(2), 107-109. doi: <https://doi.org/10.1556/168.2019.20.2.1>
27. Weiskopf, S. R., Rubenstein, M. A., Crozier, L. G., Gaichas, S., Griffis, R., Halofsky, J. E., Hyde, K. J., Morelli, T. L., Morissette, J. T., Muñoz, R. C., Pershing, A. J., Peterson, D. L., Poudel, R., Staudinger, M. D., Sutton-Grier, A. E., Thompson, L., Vose, J., Weltzin, J. F., & Whyte, K. P. (2020). Climate change effects on biodiversity, ecosystems, ecosystem services, and natural resource management in the United States. *Science of The Total Environment*, 733, 137782. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.137782>
28. Sato, C. F., Westgate, M. J., Barton, P. S., Foster, C. N., Pierson, J. C., Balmer, J., Chapman, J., Catt, G., Detto, T., Hawcroft, A., Kavanagh, R. P., Marshall, D., McKay, M., Moseby, K., Perry, M., Robinson, D., Schroder, M., Tuft, K., & Lindenmayer, D. B. (2019). The use and utility of surrogates in biodiversity monitoring programmes. *Journal of Applied Ecology*, 56(6), 1304-1310. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.13366>

29. Myers, B. J., Weiskopf, S. R., Shiklomanov, A. N., Ferrier, S., Weng, E., Casey, K. A., ... & Beard, T. D. (2021). A new approach to evaluate and reduce uncertainty of model-based biodiversity projections for conservation policy formulation. *BioScience*, 71(12), 1261-1273.
30. Rapport, D. J., & Whitford, W. G. (1999). How Ecosystems Respond to Stress Common properties of arid and aquatic systems. *BioScience*, 49(3), 193-203. <https://doi.org/10.2307/1313509>
31. Gammal, J., Hewitt, J., Gladstone-Gallagher, R. et al. Stressors Increase the Impacts of Coastal Macrofauna Biodiversity Loss on Ecosystem Multifunctionality. *Ecosystems* 26, 539–552 (2023). <https://doi.org/10.1007/s10021-022-00775-4>
32. Moreno-Mateos, D., Barbier, E., Jones, P. et al. Anthropogenic ecosystem disturbance and the recovery debt. *Nat Commun* 8, 14163 (2017). <https://doi.org/10.1038/ncomms14163> Long-Term Environmental Impacts:
33. Thurstan, R., McClenachan, L., Crowder, L., Drew, J., Kittinger, J., Levin, P., Roberts, C., & Pandolfi, J. (2015). Filling historical data gaps to foster solutions in marine conservation. *Ocean & Coastal Management*, 115, 31-40. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2015.04.019>
34. McClenachan, L., Ferretti, F., & Baum, J. K. (2012). From archives to conservation: Why historical data are needed to set baselines for marine animals and ecosystems. *Conservation Letters*, 5(5), 349-359. <https://doi.org/10.1111/j.1755-263X.2012.00253.x>
35. Chu, E. W., & Karr, J. R. (2016). Environmental Impact: Concept, Consequences, Measurement. Reference Module in Life Sciences. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-809633-8.02380-3>
36. Sawyer K, Sharples F, Poole R, (2020). Emerging Technologies to Advance Research and Decisions on the Environmental Health Effects of Microplastics: Proceedings of a Workshop—in Brief. Washington (DC): National Academies Press (US);. Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK559942/> doi: 10.17226/25862
37. Steele, K. (2006). The precautionary principle: A new approach to public decision-making? *Law, Probability and Risk*, 5(1), 19-31. <https://doi.org/10.1093/lpr/mgl010>
38. Muldowney, D., Baker, K., Pedersen, E., & Osborne, D. (2018). Basis for a Precautionary Approach and Decision-Making Framework for the Newfoundland and Labrador Snow Crab (*Chionoecetes Opilio*) Fishery. Canadian Science Advisory Secretariat.
39. Bretschger, L., & Smulders, S. (2018). Taking time for the environment: On timing and the role of delays in environmental and resource economics. *Environmental and Resource Economics*, 70, 731-736.
40. Abernethy, S., & Jackson, R. B. (2022). Global temperature goals should determine the time horizons for greenhouse gas emission metrics. *Environmental Research Letters*, 17(2), 024019.

41. Wende, W., Bond, A., Bobylev, N., & Stratmann, L. (2012). Climate change mitigation and adaptation in strategic environmental assessment. *Environmental Impact Assessment Review*, 32(1), 88-93.
42. Denton, F., K. Halsnæs, K. Akimoto, S. Burch, C. Diaz Morejon, F. Farias, J. Jupesta, A. Shareef, P. Schweizer-Ries, F. Teng, E. Zusman, 2022: Accelerating the transition in the context of sustainable development. In IPCC, 2022: Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [P.R. Shukla, J. Skea, R. Slade, A. Al Khouradajie, R. van Diemen, D. McCollum, M. Pathak, S. Some, P. Vyas, R. Fradera, M. Belkacemi, A. Hasija, G. Lisboa, S. Luz, J. Malley, (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA. doi: 10.1017/9781009157926.019
43. Cavallo, E. A., & Noy, I. (2009). The economics of natural disasters: a survey. IDB Working Paper Series, No. IDB-WP-124.
44. Shivanna, K. R. (2022). Climate change and its impact on biodiversity and human welfare. *Proceedings of the Indian National Science Academy*, 88(2), 160-171.
45. Briassoulis, H. (2004). Policy integration for complex policy problems: What, why and how. *Greening of Policies: Interlinkages and Policy Integration*, Berlin, 3-4.
46. Mittal, I., & Gupta, R. K. (2015). Natural resources depletion and economic growth in present era. *SOCH-Mastnath Journal of Science & Technology (BMU, Rohtak)* (ISSN: 0976-7312), 10(3).
47. **OpenAI (2024). Análisis de veracidad, coherencia y pertinencia de la Sección 2 del Ensayo: Los Límites del Conocimiento Científico en el Contexto de la Crisis Ambiental. Conversación directa con ChatGPT.** <https://openai.com/chatgpt/>
48. <https://chatgpt.com/c/67e7211d-ac6f-40eb-9b7b-d50471444dd8>
49. Rose, C. M. (2002). Scientific innovation and environmental protection: some ethical considerations. *Envtl. L.*, 32, 755.
50. McDonald, J., & Simon, M. (2023). Ethics requirements for environmental research. *Australasian Journal of Environmental Management*, 1-22.
51. McShane, K. (2017). Why environmental ethics shouldn't give up on intrinsic value. In *The Ethics of the Environment* (pp. 59-77). Routledge.
52. Vucetich, J. A., Bruskotter, J. T., & Nelson, M. P. (2015). Evaluating whether nature's intrinsic value is an axiom of or anathema to conservation. *Conservation Biology*, 29(2), 321-332.
53. Lambert, J. E. (2019). The intrinsic value of nature. *Animal Sentience*, 4(27), 13.
54. Mazzocchi, F. (2020). A deeper meaning of sustainability: Insights from indigenous knowledge. *The Anthropocene Review*, 7(1), 77-93.

55. Howarth, R. B. (2011). Intergenerational justice. *The Oxford Handbook of Climate Change and Society*. DOI: 10.1093/oxfordhb/9780199566600.003.0023
56. Barry, B. (2017). Sustainability and intergenerational justice. In *Intergenerational Justice* (pp. 183-208). Routledge.
57. Kasperson, R. E., & Kasperson, J. X. (2012). Climate change, vulnerability and social justice. In *Social Contours of Risk* (pp. 301-321). Routledge.
58. Bansard, J., & Schroder, M. (2021). The sustainable use of natural resources: IISD, The governance challenges. *Earth Negotiations Bulletin*. Still Only One Earth: Lessons from 50 years of UN sustainable development policy
59. Dragomir, V. D., & Dragomir, V. D. (2020). Ethical aspects of environmental strategy. *Corporate Environmental Strategy: Theoretical, Practical, and Ethical Aspects*, 75-113.
60. **OpenAI (2024). Análisis de veracidad, coherencia y pertinencia de la Sección 3 del Ensayo: Los Límites del Conocimiento Científico en el Contexto de la Crisis Ambiental. Conversación directa con ChatGPT.** <https://openai.com/chatgpt/>
61. Grissinger, M. (2019). Understanding Human Over-Reliance On Technology. *Pharmacy and Therapeutics*, 44(6), 320. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6534180/>
62. Krinsky, S. (2010). Combating the funding effect in science: what's beyond transparency. *Stan. L. & Pol'y Rev.*, 21, 81.
63. Reid, A., Teamey, K., & Dillon, J. (2002). Traditional ecological knowledge for learning with sustainability.
64. Mutasa, M. (2014). Knowledge apartheid in disaster risk management discourse: Is marrying indigenous and scientific knowledge the missing link? *Jàmbá : Journal of Disaster Risk Studies*, 7(1). <https://doi.org/10.4102/jamba.v7i1.150>
65. **OpenAI (2024). Análisis de veracidad, coherencia y pertinencia de la Sección 4 del Ensayo: Los Límites del Conocimiento Científico en el Contexto de la Crisis Ambiental. Conversación directa con ChatGPT.** <https://openai.com/chatgpt/>

Lecturas recomendadas

1. The precautionary principle: Definitions, applications and governance. [https://www.europarl.europa.eu/thinktank/en/document/EPRS_IDA\(2015\)573876](https://www.europarl.europa.eu/thinktank/en/document/EPRS_IDA(2015)573876)
2. What are the solutions to climate change? <https://www.greenpeace.org.uk/challenges/climate-change/solutions-climate-change/>
3. Ten solutions to climate change that will actually make a difference. <https://concernusa.org/news/solutions-to-climate-change/>

4. Nature-based solutions should play increased role in tackling climate change. <https://www.eea.europa.eu/highlights/nature-based-solutions-should-play>
5. Maya Forest Natural Climate Solutions. <https://www.nature.org/en-us/about-us/where-we-work/latin-america/mexico/maya-forest/mexico-maya-forest-natural-climate-solutions/>
6. What is sustainable transportation? <https://www.joloda.com/news/a-guide-to-achieving-sustainable-transportation/>
7. Canada. Privy Council Office. (2003). A Framework for the Application of Precaution in Science-based Decision Making about Risk. Bureau du conseil privé.
8. Rastetter, E. B., Ohman, M. D., Elliott, K. J., Rehage, J. S., Rivera-Monroy, V. H., Boucek, R. E., Castañeda-Moya, E., Danielson, T. M., Gough, L., Groffman, P. M., Jackson, C. R., Miniati, C. F., & Shaver, G. R. (2021). Time lags: Insights from the U.S. Long Term Ecological Research Network. *Ecosphere*, 12(5), e03431. <https://doi.org/10.1002/ecs2.3431>
9. How can climate change affect natural disasters? <https://www.usgs.gov/faqs/how-can-climate-change-affect-natural-disasters>
10. 'Sink or Sync': Experts Discuss the Urgency of Managing Natural Resources and Vulnerability in Asia and Pacific. <https://www.adb.org/news/sink-or-sync-experts-discuss-urgency-managing-natural-resources-and-vulnerability-asia-and>
11. We're gobbling up the Earth's resources at an unsustainable rate. <https://www.unep.org/news-and-stories/story/were-gobbling-earths-resources-unsustainable-rate>
12. Environmental Ethics: Types, Importance, Examples. <https://www.geeksforgeeks.org/environmental-ethics/>
13. Beckerman, W. (2006). The impossibility of a theory of intergenerational justice. *Handbook of intergenerational justice*, 53.

